

REALISASI MULTI ROBOT SIMULTANEOUS LOCALIZATION AND MAPPING BERBASIS SENSOR KAMERA

REALIZATION OF MULTI ROBOT SIMULTANEOUS LOCALIZATION AND MAPPING BASED ON SENSOR VISUAL

Husnairi Ardan Miranto¹, Agung Nugraha Jati, S.T., M.T.², Casi Setianingsih, S.T., M.T.³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Komputer, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹ardanmiranto@student.telkomuniversity.ac.id, ²agungnj@telkomuniversity.ac.id,

³setiacasie@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Mobile robot adalah suatu robot yang mana bergerak dari suatu titik ke titik lain dengan misi tertentu. *Simultaneous Localization and Mapping* (SLAM) merupakan suatu teknik yang digunakan oleh *mobile robot* untuk membangun peta, dengan menggunakan sensor visual diharapkan dapat membantu *multi robot* dalam memetakan area karena data yang diambil dari sensor visual akurat. Oleh karena itu akan dibuat realisasi dari *multi robot* dengan skema *leader-follower* yang memiliki kemampuan untuk mengeksplorasi lingkungan yang belum diketahui sebelumnya dengan proses *mapping* dan yang terpenting adalah *multi robot* dapat membantu robot lainnya dalam melakukan eksplorasi lingkungan. Untuk itu, maka digunakan metode *ORB SLAM* dan mendeteksi target yang mana akan membantu *mobile robot* dalam melakukan eksplorasi lingkungan yang belum diketahui. Dengan proses eksplorasi ini, *multi robot* akan bernavigasi secara *outonomous* dari posisi awal menuju lokasi yang akan dipetakan. Seluruh perancangan dari realisasi *multi robot* ini akan dirancang menggunakan *framework* yaitu *Robot Operating System* (ROS) dengan bantuan *tools* yang sudah tersedia di dalamnya. Untuk hasil dalam realisasi visual SLAM dengan menggunakan metode *ORB SLAM* dapat mendeteksi objek secara optimal dengan ukuran objek 31,5x56 cm pada jarak 70 cm dan mendapatkan nilai error 1,21% dan nilai akurasi sebesar 98,79%, lalu untuk realisasi *multi robot* sistem dengan skema *leader* dan *follower* yang telah dibuat ini dapat bekerja di lingkungan yang belum diketahui dan mendapatkan visualisasi map yang berasal dari sensor kamera dan sensor lidar.

Kata kunci: Robot Operating System, ORB SLAM, Mobile Robot.

Abstract

Mobile robot is a robot which moves from one point to another with a specific mission. *Simultaneous Localization and Mapping* (SLAM) is a technique used by mobile robots to build maps, using visual sensors is expected to help multi robots in mapping areas because data taken from visual sensors is accurate.

Therefore, the realization of multi robots will be made with a leader-follower scheme that has the ability to explore environments that have not been known before with the mapping process and most importantly, multi robots can help other robots in exploring the environment. For this reason, the *ORB SLAM* method is used and it detects targets which will help the mobile robot to explore unknown environments.

With this exploration process, multi robots will navigate outonomically from the initial position to the location to be mapped. The entire design of this multi-robot realization will be designed using a framework that is the *Robot Operating System* (ROS) with the help of tools that are already available in it. For results in the realization of SLAM visuals using the *ORB SLAM* method can detect objects optimally with an object size of 31.5x56 cm at a distance of 70 cm and get an error value of 1.21% and an accuracy value of 98.79%, then for multi-robot system realization with the leader and follower scheme that has been made it can work in unknown environments and get a visualization map that comes from the camera sensor and the lidar sensor.

Keywords: Robot Operating System, ORB SLAM, Mobile Robot.

1. Pendahuluan

Mobile robot adalah konstruksi robot yang mempunyai aktuator berupa roda untuk menggerakkan keseluruhan badan robot sehingga dapat melakukan perpindahan posisi dari satu titik ke titik yang lain. *Mobile robot* dalam pengimplementasiannya dapat menggunakan lebih dari satu *Mobile Robot* atau lebih sering dikenal dengan *multi robot system*. Dengan memanfaatkan *multi robot* dengan skema *leader follower*, *Simultaneous Localization and Mapping* (SLAM) diharapkan dapat menyelesaikan tugas eksplorasi dan pemetaan lebih cepat dari *single mobile robot*. [1][2]

Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) merupakan bidang yang penting dalam robotika dan navigasi secara otomatis, ini adalah proses dimana robot bergerak di lingkungan yang tidak dikenali menggunakan informasi dari sensor dan odometri untuk membangun peta secara bersamaan[3]. menggunakan informasi dari *monocular camera* dapat digunakan untuk membuat peta dan lokalisasi. ORB SLAM, adalah sistem SLAM berbasis sensor *visual* yang mampu membuat peta berbasis *point cloud* atau titik awan menggunakan kamera. Sebagai input dari kamera secara *real time*, *point cloud* yang dihasilkan oleh ORB SLAM dapat memetakan area[3]. Untuk sistem *close loops* yaitu mendeteksi kapan sensor kembali ke area yang dipetakan dan memperbaiki kesalahan akumulasi dan eksplorasi karena kegagalan pelacakan oleh kamera yang disebabkan perpindahan gerakan yang ditangkap oleh kamera secara agresif[4].

Robot Operating Sistem (ROS) merupakan *open-source framework* yang sudah banyak digunakan secara umum dalam bidang robotika. Dalam penelitian kali ini, ROS digunakan untuk membuat robot karena kelebihan dari ROS ini yaitu membuat efisien pengguna karena tidak harus membisakan waktu dari awal untuk membuat infrastruktur robot[5][6]. ROS sendiri menyediakan banyak fasilitas sistem operasi seperti kontrol perangkat, *tools*, lapisan komunikasi, dan simulasi perancangan untuk robot[6].

Dalam Tugas Akhir ini mengangkat topik mengenai pemetaan dan lokalisasi yang dilakukan oleh *mobile robot* dengan skema *leader follower* dalam komunikasi terhadap *multi robot* pada lingkungan buatan yang belum diketahui sebelumnya oleh robot. Diharapkan dengan menggunakan ROS untuk merancang sistem yang digunakan dan menggunakan algoritma ORB SLAM dapat memetakan area sesuai dengan tujuan pembuatan Tugas Akhir ini.

2. Dasar Teori dan Perancangan

2.1 Mobile Robot

Mobile robot adalah suatu robot yang bergerak dari suatu titik ke titik lainnya dengan misi tertentu. Seiring dengan riset yang sangat pesat di bidang robotika, *mobile robot* dimanfaatkan di dalam berbagai kehidupan manusia, seperti robot transportasi, robot militer, robot pelayan, robot *underwater*, dan lain sebagainya. Dalam perkembangan *mobile robot* atau yang sering disebut sebagai *autonomus robot*, adalah robot yang mempunyai penggerak atau *actuator* berupa roda yang berfungsi sebagai penggerak robot itu sendiri[7], sehingga *mobile robot* dapat berpindah dari satu titik ke titik yang lainnya. *Mobile robot* dapat menyelesaikan tugasnya dengan otomatis dengan menyelesaikan sebuah masalah yang ingin dipecahkan. *Mobile robot* juga dapat dihubungkan dengan *platform software* ROS agar dapat dimonitoring dengan mudah

2.2. Simultaneous Localization and Mapping

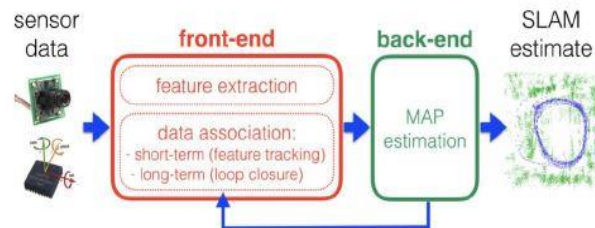
Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) adalah teknologi yang mampu membangun peta dari lingkungan yang tidak dikenal dan melakukan lokalisasi dengan menggunakan input data dari sensor. SLAM tetap menjadi salah satu riset yang diminati di bidang robotika, karena *mobile robot* bergerak di lingkungan yang tidak dikenal dan memiliki informasi yang tidak memadai pada kondisi awal. Oleh karena itu sensor navigasi seperti Lidar atau Kamera memiliki peran penting dalam proses SLAM. SLAM dengan menggunakan *monocular kamera* (satu kamera) dapat menghasilkan detail *point cloud* suatu area, data tersebut adalah ekstraksi ciri dari suatu area atau bisa disebut dengan *landmark*. SLAM terdiri dari beberapa langkah, yaitu ekstraksi *landmark*, asosiasi data, *state estimation*, *state*

update dan *landmark update*[8]. Algoritma SLAM secara umum harus mempunyai alamat parameter sebagai berikut:

1. Sensor sonar, laser atau *vision*, pandangan yang sempit atau lebar.
2. Representasi peta dalam 2D atau 3D.
3. Dinamika lingkungan, di dalam atau luar ruangan, statis atau dinamis.

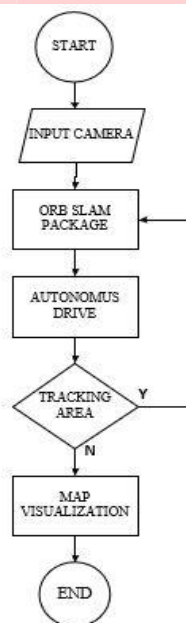
SLAM memiliki beberapa jenis metode, salah satunya adalah *visual based SLAM* atau SLAM menggunakan sensor berjenis kamera. Salah satu *visual based SLAM* adalah ORB SLAM2, pemetaan dengan algoritma ini pada dasarnya mengekstraksi ciri dari suatu gambar.

Visual SLAM: Main Parts



Gambar 1. Alur Visual SLAM

2.3. Perancangan dan Aplikasi Sistem Mobile Robot



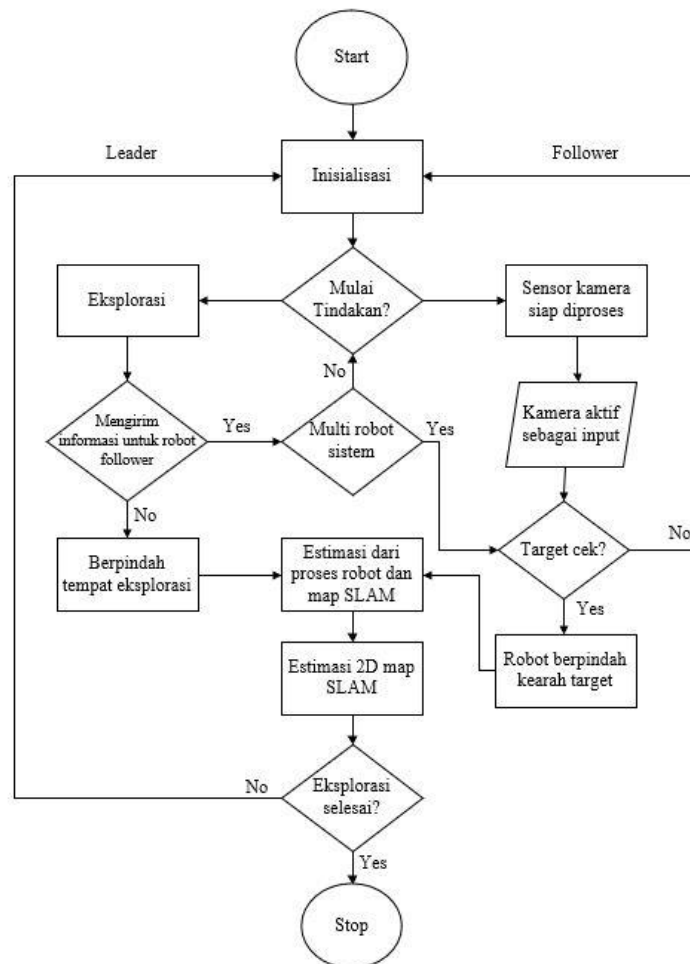
Gambar 2. Diagram alir sistem

Di dalam sistem ini untuk melakukan pemetaan area dan melacak objek dengan menggunakan *software platform* ROS yang terdiri dari beberapa package seperti usb cam untuk library kamera dan package ORB SLAM untuk pemetaan area. Berikut ini adalah penjelasan setiap tahap packagenya.

1. Bermulai dari sensor kamera yang sebelumnya sudah dikalibrasi terlebih dahulu.
2. Selanjutnya memasuki package ORB SLAM, ini fase tahap dimana data yang didapatkan dari *input* kamera diproses oleh algoritma yang berfungsi untuk memetakan area dengan

- hasil berupa visualisasi *point cloud* dan mendapatkan hasil dalam bentuk visual kamera 2D.
- Setelah ORB SLAM sudah melakukan inisialisasi, memasuki fase *autonomus drive* dimana *mobile robot* akan berkomunikasi melalui *multi robot system* dengan skema *leader follower* dengan mengikuti objek yang berada pada robot *leader*.
 - Setelah *mobile robot* melalui proses *autonomus drive* dan mendapatkan hasil pemetaan, hasil yang didapatkan akan disimpan.

2.4. Implementasi Pergerakan Sistem Multi Robot



Gambar 3. Diagram alir pergerakan sistem multi robot

Di dalam diagram alir tersebut, dijelaskan bahwa *leader* dan *follower* melakukan inisialisasi sebelum melakukan tindakan kemudian *leader* melakukan eksplorasi kemudian *multi robot* melakukan komunikasi dengan cara robot *follower* mengikuti objek yang berada pada robot *leader*. Bila robot *follower* sudah menuju target yang berada pada robot *leader* maka robot *follower* akan membantu untuk memetakan area menggunakan sensor kamera yang terpasang sehingga proses pemetaan area didapatkan dari robot *leader* dan *follower*. Apabila robot *follower* tidak juga mendapatkan instruksi dilakukan proses inisialisasi guna *follower* dan *leader* melakukan komunikasi ulang, kemudian feature map tadi ditampilkan dari Rviz yang di dalamnya terdapat proses *Tracking thread* dan *Mapping thread* sehingga eksplorasi robot dapat divisualisasikan. Apabila eksplorasi telah selesai maka proses telah

berakhir sebaliknya apabila belum selesai maka dilakukan kembali proses explorasi sampai ruangan ditelesuri seluruhnya.

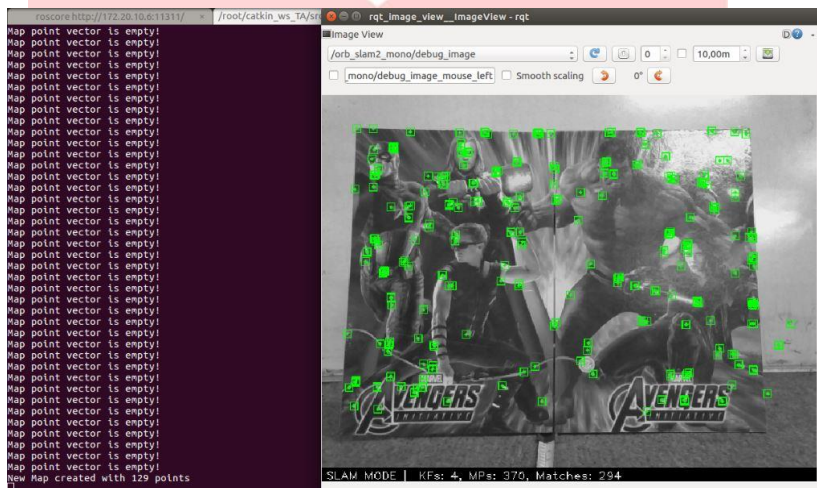
3. Pengujian dan Analisis

3.1. Pengujian sensor kamera dengan metode ORB SLAM

Tujuan dari pengujian sensor ini adalah untuk menguji apakah sensor berfungsi dengan baik dalam sistem *mobile robot*, karena sensor ini merupakan bagian paling penting terkait dengan pengujian selanjutnya. Dalam proses pengujian ini akan dilihat apakah sensor dapat diproses oleh pengujian selanjutnya. Pada pengujian ini, akan dilakukan menggunakan sensor kamera yang mana akan dilakukan pengambilan data dari pembacaan sensor kamera dengan metode ORB SLAM yaitu dengan mengidentifikasi objek yang sudah ditentukan dan membuat data dalam bentuk *point cloud*. Pengujian ini dilakukan dengan mengidentifikasi objek dalam jarak 70 cm, 110 cm dan 150 cm.

Tabel 1. Perbandingan dari ukuran objek terhadap jarak dalam cm untuk sistem *mobile robot* melakukan inisialisasi terhadap sensor kamera

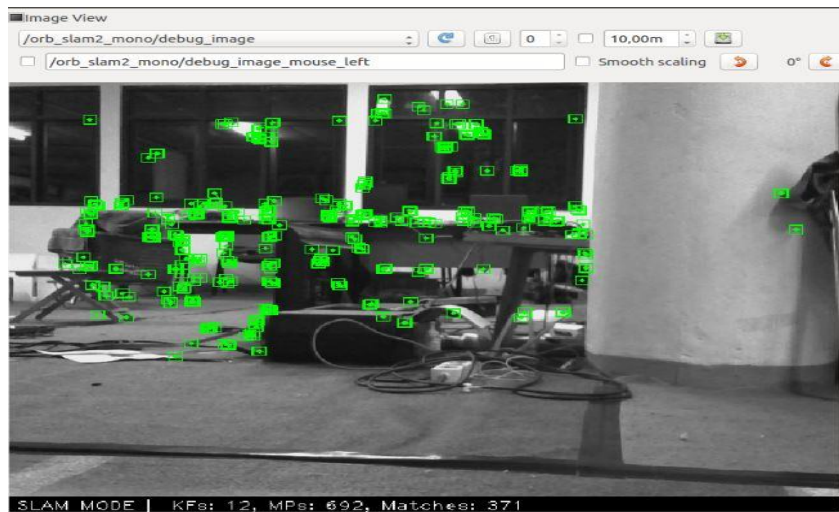
| Ukuran Target | Deteksi? | Jarak (cm) | Waktu (s) | Error |
|---------------|----------|------------|-----------|-------|
| 46 x 35 | Y | 70 | 4 | 1.25% |
| 46 x 35 | Y | 110 | 9 | 1.53% |
| 46 x 35 | Y | 150 | 12 | 2.18% |
| 31,5 x 56 | Y | 70 | 6 | 1.21% |
| 31,5 x 56 | Y | 110 | 15 | 1.96% |
| 31,5 x 56 | Y | 150 | 21 | 2.78% |
| 25,5 x 26 | Y | 70 | 5,5 | 1.62% |
| 25,5 x 26 | Y | 110 | 14 | 1.52% |
| 25,5 x 26 | Y | 150 | 20 | 3.38% |



Gambar 4. Inisialisasi ORB SLAM dengan melakukan pengujian pada sensor kamera

3.2. Pengujian ORB SLAM

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menguji algoritma ORB SLAM dan kamera menggunakan bag file atau file yang sudah direkam sebelumnya yang akan diproses menggunakan algoritma ORB SLAM. Dalam pengujian ini akan dilihat bagaimana output dari pemetaan area dan lintasan yang dihasilkan. Pada pengujian ini akan menggunakan kamera yang mana akan dilakukan pengambilan data pembacaan sensor kamera yang menghasilkan tipe data *point cloud* dengan file yang sudah direkam.



Gambar 5. Tampilan ORB SLAM dalam memproses

3. 3. Pengujian performa mobile robot mendeteksi objek yang berada pada robot leader

Tujuan dari pengujian ini adalah mendeteksi marker yang *mobile robot* terima dari robot *leader*, marker tersebut digunakan oleh *mobile robot* agar dapat menerima instruksi yang mana nantinya *mobile robot* akan membantu sistem dari *multi robot* untuk memetakan area dengan menggunakan sensor visual. Pada pengujian ini dilakukan proses mengikuti marker yang berada pada robot *leader*, pengujian ini adalah pengujian *multi robot* dengan skema *leader follower* yang mana robot *follower* akan mengikuti robot *leader* untuk membantu melakukan merepresentasikan area dengan bantuan sensor kamera yang berada pada robot *follower*.

Tabel 2. Perbandingan pengujian mendeteksi objek terhadap jarak dalam cm untuk mendeteksi objek yang berada pada robot leader pada sensor kamera

| Ukuran diameter objek (cm) | Jarak antar objek (cm) | Berhasil mendeteksi? | Waktu menghampiri objek (sec) |
|----------------------------|------------------------|----------------------|-------------------------------|
| 7 | 30 | Y | 2,6 |
| 7 | 60 | Y | 5,3 |
| 7 | 90 | Y | 8,4 |
| 7 | 120 | Y | 11,8 |
| 4,3 | 30 | Y | 2,4 |
| 4,3 | 60 | Y | 5,5 |
| 4,3 | 90 | Y | 9,3 |
| 4,3 | 120 | Y | 10,7 |

3. 4. Analisis

Pada pengujian sensor kamera dengan metode ORB SLAM, jarak awal untuk pengujian sensor kamera di atas ditentukan dan dimulai dari jarak 70 cm antara sensor kamera dengan objek karena jarak tersebut merupakan jarak yang tepat agar objek bisa masuk dan nampak ke dalam *frame* dari sensor kamera secara keseluruhan. Dilihat dari hasil pengujian di atas, semakin dekat jarak antara sensor kamera dan objek pada ukuran 46 x 35 dan 31,5 x 56 merupakan yang paling baik diantara ukuran lainnya karena keseluruhan objek dapat diinisialisasi oleh metode ORB SLAM. Untuk ukuran objek 25,5 x 26 dengan jarak antara sensor kamera dengan objek yaitu 150 cm tidak bisa diinisialisasi oleh sistem, dikarenakan ukuran objek terlalu kecil dan jauh dari *frame* kamera dan oleh sebab itu, sistem akan mendeteksi objek atau menginisialisasi objek yang lain yang berada disekitar objek tersebut.

Hasil yang didapatkan setelah pengujian menggunakan bag file adalah algoritma ORB SLAM merepresentasikan area dalam bentuk *point cloud* dan lintasan. *Point cloud* yang dihasilkan dari metode ORB SLAM merepresentasikan area dalam bentuk *point cloud*, hasil tersebut bisa memperkirakan

lintasan yang dilalui oleh kamera. Untuk hasil yang lebih maksimal dalam merepresentasikan area yang dilalui harus dilakukan pengulangan atau loop detection.

Pada hasil mendeteksi objek yang ada pada *mobile robot*, didapatkan bahwa jarak yang ideal untuk penempatan objek untuk dideteksi adalah 30-60 cm karena waktu yang dibutuhkan cepat.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa yang telah dilakukan, maka akan ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Sensor kamera yang digunakan dapat mendeteksi objek dengan metode ORB SLAM dengan ukuran objek yang berbeda dengan tingkat error terkecil sebesar 1,21% dengan ukuran objek 31,5 x 56 cm di jarak 70 cm dan tingkat error terbesar sebesar 3,38% dengan ukuran objek 25,5 x 26 cm di jarak 150 cm.
2. ORB SLAM dapat mevisualisasikan area dan menghasilkan *point cloud* dan lintasan yang dilalui oleh *mobile robot*.
3. Realisasi *multi robot* dengan skema *leader follower* dapat membantu dalam memetakan area dengan menggunakan sensor visual.

Daftar Pustaka:

- [1] A. Howard, "Multi-robot simultaneous localization and mapping using particle filters," *Int. J. Rob. Res.*, vol. 25, no. 12, pp. 1243–1256, 2006.
- [2] S. Thrun and Y. Liu, "Multi-robot SLAM with Sparse Extended Information Filters," pp. 254–265, 2005.
- [3] Abhineet Kumar Singh and Ali Jahani Amiri, "2D Grid Mapping and Navigation with ORB SLAM COMPUT 631 Project Report," 2017.
- [4] R. Mur-Artal and J. D. Tardos, "ORB-SLAM2: An Open-Source SLAM System for Monocular, Stereo, and RGB-D Cameras," *IEEE Trans. Robot.*, vol. 33, no. 5, pp. 1255–1262, 2017.
- [5] J. M. Santos, D. Portugal, and R. P. Rocha, "An evaluation of 2D SLAM techniques available in Robot Operating System," *2013 IEEE Int. Symp. Safety, Secur. Rescue Robot. SSR 2013*, 2013.
- [6] M. Cashmore *et al.*, "Rosplan: Planning in the robot operating system," *Proc. Int. Conf. Autom. Plan. Sched. ICAPS*, vol. 2015–Janua, pp. 333–341, 2015.
- [7] P. E. Ruggiero, "Autonomous Mobile Robot," *Geothermics*, vol. 14, no. 4, pp. 595–599, 1985.
- [8] S. Y. Hwang and J. B. Song, "Monocular vision-based SLAM in indoor environment using corner, lamp, and door features from upward-looking camera," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 58, no. 10, pp. 4804–4812, 2011.